

19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift  
11 DE 3528006 A1

51 Int. Cl. 4:  
C07 F 7/18  
C 07 F 7/04

21 Aktenzeichen: P 35 28 006.9  
22 Anmeldetag: 5. 8. 85  
43 Offenlegungstag: 5. 2. 87

*Sohns & Co. Agentur*

DE 3528006 A1

71 Anmelder:  
Degussa AG, 6000 Frankfurt, DE

72 Erfinder:  
Deschler, Ulrich, Dipl.-Chem. Dr., 6450 Hanau, DE;  
Grund, Andreas, Dipl.-Chem. Dr., 6100 Darmstadt,  
DE; Prescher, Günter, Dipl.-Chem. Dr., 6450 Hanau,  
DE

54 Verfahren zur Herstellung von epoxidierten Organosiliziumverbindungen

Verfahren zur Herstellung von epoxidierten Organosiliziumverbindungen durch Umsetzen von entsprechenden ungesättigten Organosiliziumverbindungen mit Hilfe von Perpropionsäure in benzolischer Lösung. Diese Lösung kann auch in ungereinigter Form mit Maximalgehalten an Wasserstoffperoxid, Wasser oder Mineralsäure eingesetzt werden.

DE 3528006 A1

1. Verfahren zur Herstellung von epoxidierten Organosilaziumverbindungen durch Epoxidation von Organosilaziumverbindungen mit einer oder mehreren Kohlenstoff-Kohlenstoffdoppelbindungen mit einer Percarbonsäure in einem organischen Lösungsmittel, dadurch gekennzeichnet, daß man die ungesättigten Organosilaziumverbindungen mit Perpropionsäure in benzolischer Lösung im Molverhältnis 1 : 1 bis 1 : 2 (zu epoxidierende Doppelbindung zu Perpropionsäure) bei einer Temperatur von 10 bis 120°C, vorzugsweise von 40 bis 70°C, umsetzt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß man als ungesättigte Organosilaziumverbindungen mit wenigstens einer Kohlenstoff-Kohlenstoffdoppelbindung solche Verbindungen einsetzt, bei denen die Kohlenstoff-Kohlenstoffdoppelbindung Bestandteil eines Substituenten ist, der über mindestens ein Kohlenstoffatom oder über eine C—O- oder eine C—N-Bindung an das Siliziumatom geknüpft ist.

3. Verfahren nach den Ansprüchen 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß man Organosilaziumverbindungen mit mindestens einer hydrolysierbaren Gruppe einsetzt.

4. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß man eine Perpropionsäurelösung einsetzt, die maximal einen Gehalt von 1,5 Gewichtsprozent Wasserstoffperoxid, 1,5 Gewichtsprozent Wasser und bis zu 800 ppm Mineralsäure besitzt.

5. Kontinuierliches Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß man das ungesättigte Organosilan mit einer Lösung von Perpropionsäure in Benzol im Molverhältnis 1 : 1 bis 1 : 2 (zu epoxidierende Doppelbindung zu Perpropionsäure) in ein Reaktionssystem einspeist, das aus einer Folge von 1 bis 4 ideal durchmischten Reaktoren und einem Nachreaktor besteht, die Reaktion bei einer Temperatur von 10 bis 120°C durchführt, wobei man die Verweilzeit so einstellt, daß der Umsatz, bezogen auf eingesetzte olefinische Doppelbindungen, nach dem oder den ideal durchmischten Reaktoren bei mindestens 80 Molprozent und nach dem Nachreaktor bei mindestens 95, bevorzugt über 98 Molprozent, liegt, und daß man das aus dem Nachreaktor austretende Gemisch in einer Kombination von Destillations- und Desorptionsschritten von Benzol, Propionsäure geringen Mengen an Perpropionsäure und von anderen Leichtsiedern befreit.

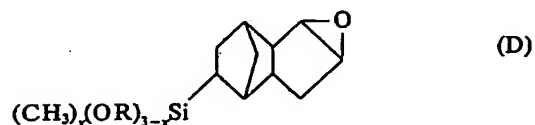
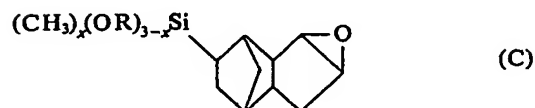
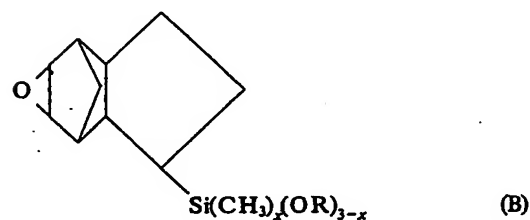
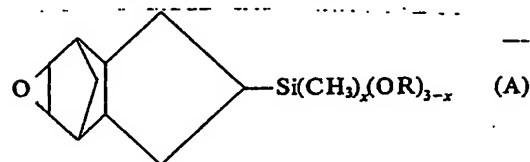
6. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß man die Destillations- und Desorptionsschritte unter vermindertem Druck von 10 bis 300 mbar bei Temperaturen des Heizmediums von 50 bis 150°C und bei Verweilzeiten von maximal 10 Minuten, bevorzugt maximal 5 Minuten, in den einzelnen Schritten, durchführt.

7. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß man zunächst Benzol und Propionsäure sowie die geringen Mengen Perpropionsäure größtenteils destillativ abtrennt, worauf man die verbliebene Menge Propionsäure im Roh-epoxid mit Benzoldampf weiter desorptiv entfernt und hieran direkt anschließend das Benzol und Spuren von Propionsäure desorptiv mit Inertgasen

austreibt.

8. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß man das aus der Kombination von Destillations- und Desorptionsschritten erhaltene Gemisch aus Benzol, Propionsäure, geringen Mengen Perpropionsäure, sowie gegebenenfalls anderen Leichtsiedern in eine aus zwei oder mehreren Destillationskolonnen bestehende Destillationsanlage führt und in dem ersten Destillationsschritt über Kopf Benzol, gegebenenfalls im Gemisch mit anderen Leichtsiedern, abzieht, das man gegebenenfalls nach destillativer Reinigung in das Herstellungsverfahren der Perpropionsäure wieder zurückführt, und daß man im Sumpf die Gesamtmenge an Perpropionsäure und Propionsäure, sowie Anteile von Benzol in Mengen von 5 bis 35 Gewichtsprozent, bezogen auf die Sumpfmischung, entnimmt und diese Mischung in eine zweite Destillationsstufe führt, in der man die Gesamtmenge des darin enthaltenen Benzols und der Perpropionsäure mit Anteilen an Propionsäure über Kopf abzieht und dabei eine Konzentration von Perpropionsäure in dem Kopfprodukt von mehr als 25 Gewichtsprozent nicht überschreitet, dieses Kopfprodukt in das Herstellungsverfahren der Perpropionsäure oder in die Umsetzung der Perpropionsäure mit Olefin zurückführt, und daß man die Propionsäure mit Olefin zurückführt, und daß man die Propionsäure als Sumpfprodukt gegebenenfalls dampfförmig, oberhalb des Sumpfes abzieht und in das Herstellungsverfahren der Perpropionsäure zurückführt.

9. Isomerengemisch aus Epoxysilanen der Formeln



in denen x die Werte 1 und 2 und R die Bedeutung C<sub>1</sub>—C<sub>6</sub>-Alkyl oder Aryl annimmt.

Gegenstand der Erfindung ist die Herstellung epoxidierter Organosiliziumverbindungen durch direkte Oxidation ungesättigter Organosiliziumverbindungen.

Siliziumorganische Verbindungen, die mindestens eine Epoxygruppe oder epoxygruppierungstragende Gruppe enthalten, haben seit vielen Jahren technisches Interesse hervorgerufen. So werden sie als Monomer, oder im Verbund mit anderen Monomeren, zur Herstellung hochwertiger Materialien erfolgreich eingesetzt. Ferner finden sie Anwendung als sog. Haftvermittler zwischen verschiedenen Werkstoffen in vielen Bereichen der Polymer- und Klebtechnik.

So sind zur Herstellung der beanspruchten Organosilane mit Epoxygruppen seit langem mehrere Verfahren bekannt. Eine Möglichkeit zur Synthese ist z. B. die katalytische Addition von Silanen mit mindestens einem Wasserstoffatom an die C=C-Doppelbindung eines monoolefinischen Epoxids.

Als Katalysatoren werden Edelmetalle, wie Platin, Rhodium, Ruthenium oder auch Nickel, eingesetzt, wobei aber Abtrennung und Rückführung des Katalysators erheblichen technischen Aufwand verursachen (DE-OS 19 37 904, DDR-PS 1 44 413, US-PS 37 45 206).

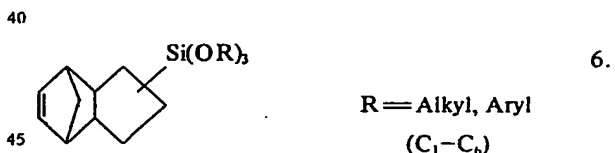
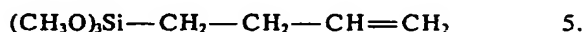
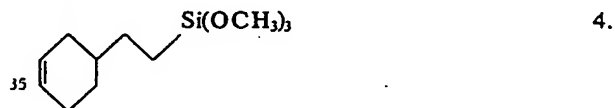
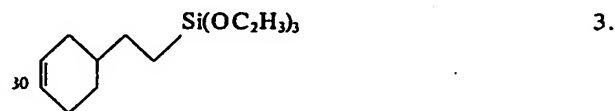
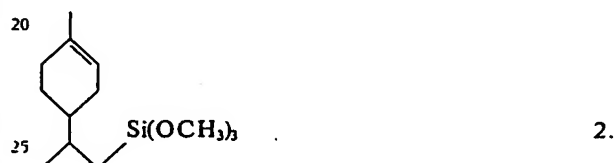
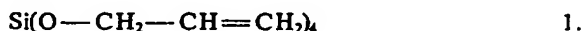
Eine prinzipiell andere Möglichkeit zur Herstellung der beanspruchten Verbindungsklasse liegt in dem umgekehrten Weg, das heißt, man stellt zunächst ein ungesättigtes Silan her und epoxidiert dieses. Diese sogenannte Direktoxidation läßt sich mit Hilfe organischer Persäuren durchführen (US-PS 34 55 877 bzw. DE-PS 10 61 321). Meist wurde hierzu eine Lösung von Peressigsäure in Essigsäure verwendet, die aber nicht allgemein anwendbar war und je nach Art der ungesättigten Silane nur zu äußerst tragem Reaktionsablauf und zu sehr geringen Ausbeuten führte (E. P. Plueddemann, G. Fanger, J. Am. Chem. Soc., 1959, Band 81, Seite 2632; GB-PS 12 05 819). Außerdem führte bei hydrolysierbaren Silanen die Verwendung von wasserhaltigen Persäuren zu drastischen Ausbeuteverlusten.

Es kam hinzu, daß man bei großtechnischem Einsatz von z. B. Peressigsäure das Sicherheitsrisiko fürchtete (DE-OS 21 59 991). Auch der Versuch, diese Schwierigkeiten durch ein spezielles System, nämlich die Verwendung von m-Chlorperbenzoesäure in halogenierten Kohlenwasserstoffen, zu umgehen, scheiterte. Die Ausbeuten waren unbefriedigend (GB-PS 12 05 819). Hinzu kommt die erhebliche Korrosionsgefahr bei Anwendung halogenierter Kohlenwasserstoffe. Auch bereitete die Abtrennung und Rückführung bzw. Wiederverwertung der bei der Umsetzung gebildeten m-Chlorbenzoesäure Schwierigkeiten; übrigens ein Problem, das auch bei der Verwendung anderer Persäuren und ihrer bei der Umsetzung gebildeten Basissäuren auftrat. Eine direkte Epoxidierung mit 95%igem Wasserstoffperoxid läßt sich ebenfalls aus Sicherheitsgründen nicht durchführen (DE-OS 26 07 768).

Demnach mußte es für den Fachmann den Anschein haben, als ob die Verwendung einer Percarbonsäure bei der Herstellung von epoxidierten Organosiliziumverbindungen nicht zweckentsprechend sei.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, die Epoxidation ungesättigter Organosiliziumverbindungen mit einer Percarbonsäure derartig durchzuführen, daß neben voll befriedigenden Ausbeuten keine Sicherheitsrisiken auftreten und auch die anfallende Basissäure durch technische einfache Aufarbeitung des Reaktionsgemisches gewonnen und wieder verwendet werden kann.

Es wurde nun gefunden, daß sich diese Aufgabe lösen läßt, wenn man Organosiliziumverbindungen mit einer oder mehreren Kohlenstoff-Kohlenstoffdoppelbindungen mit Perpropionsäure in benzolischer Lösung im Molverhältnis 1 : 1 bis 1 : 2 (zu epoxidierende Doppelbindung zu Perpropionsäure) bei einer Temperatur von 10 bis 120°C, vorzugsweise von 40 bis 70°C, umsetzt. Als Organosiliziumverbindungen mit einer oder mehreren Kohlenstoff-Kohlenstoffdoppelbindungen werden solche verstanden, bei denen die Kohlenstoff-Kohlenstoffdoppelbindung Bestandteil eines Substituenten ist, der über mindestens ein Kohlenstoffatom oder über eine C-O- oder eine C-N-Bindung an das Si-Atom geknüpft ist. Hierunter fallen z. B. Silane der folgenden Formeln, die zum Teil auch als Isomergemische vorliegen können:



R = Alkyl, Aryl  
(C<sub>1</sub>-C<sub>n</sub>)

Hinweise zur Herstellung der ungesättigten Silane finden sich in folgender Literatur:

E. P. Plueddemann in Kirk Othmer, Vol. 20, Seiten 962 ff.  
B. E. Cooper, Process Biochemistry, 1980, Seiten 9 ff.  
Charles A. Roth, I and EC Product Research and Development, Vol. 11, 1972, Seite 134.

Perpropionsäure kann z. B. gemäß dem in der DE-PS 25 19 289 beschriebenen Verfahren hergestellt werden, in dem man wäßriges Wasserstoffperoxid mit Propionsäure in Gegenwart von Schwefelsäure umsetzt und anschließend die entstandene Perpropionsäure mit Benzol aus dem Reaktionsgemisch extrahiert. Die auf diese Weise erhaltene Perpropionsäure in benzolischer Lösung kann noch weiter gereinigt werden, um den Restgehalt an Schwefelsäure, Wasser und Wasserstoffperoxid zu verringern, siehe z. B. DE-PS 25 19 290.

Bevorzugt ist aber eine Perpropionsäurelösung, die keiner weiteren Reinigung bedarf, vielmehr läßt sich der Rohextrakt aus der Persäureherstellung ohne Nachteile einsetzen, was zu einem erheblich verringerten technischen Aufwand führt und daher das Verfahren sehr wirtschaftlich gestaltet.

Es kann daher eine Perpropionsäurelösung in Benzol verwendet werden, die bis zu 1,5 Gewichtsprozent Wasserstoffperoxid, 1,5 Gewichtsprozent Wasser und bis zu 800 ppm Mineralsäure enthält. Der Persäuregehalt der Lösungen kann zwischen 10 und 30 Gewichtsprozent, bevorzugt 20 Gewichtsprozent, liegen.

Das erfindungsgemäße Verfahren läßt sich unter verschiedenen Drücken durchführen; im allgemeinen wird unter Normaldruck gearbeitet, das Verfahren läßt sich aber auch bei Über- oder Unterdruck durchführen.

Die Umsetzung kann sowohl diskontinuierlich oder kontinuierlich in für diese Art der Reaktion geeigneten Reaktoren, wie Rührkesseln, Rührkesselskaden, Rühr- oder Schlaufenreaktoren, erfolgen, wobei die Reaktionswärme auf beliebige Weise, z. B. Siedekühlung oder innen- bzw. außenliegende Kühleinrichtungen, abgeführt wird.

Geeignete Werkstoffe für die Reaktionsapparate zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens sind z. B. Glas, Edelstahl oder emailliertes Material.

Die Perpropionsäure wird mit dem Olefin auf beliebige Art zusammengebracht. So kann man beide Reaktionsteilnehmer zusammen oder nacheinander in beliebiger Reihenfolge in den Reaktor einbringen. Bei diskontinuierlicher Arbeitsweise wird vorzugsweise das Olefin vorgelegt und die Persäure unter Kontrolle der Reaktionstemperatur zudosiert; es kann aber ebenso gut umgekehrt verfahren werden, d. h. man legt die Persäure vor und dosiert das Olefin temperaturkontrolliert zu. Erfolgt die Umsetzung kontinuierlich, so können beide Reaktanten getrennt oder gemeinsam dem Reaktor zugeführt werden. Bei Verwendung mehrerer hintereinandergeschalteter Reaktoren, wie z. B. einer Rührkesselskade oder einer Folge von Rührkesseln mit einem Rohrreaktor als Nachreaktor, kann man sowohl Persäure- als auch Silan-Mengen auf mehrere Reaktoren verteilen. Die Silane werden bevorzugt als solche eingesetzt, können aber in gelöster Form, z. B. in Benzol, verwendet werden. Nach dem erfindungsgemäßen Verfahren ist eine kontinuierliche Arbeitsweise besonders vorteilhaft. Danach speist man das ungesättigte Organosilan mit einer Lösung von Perpropionsäure in Benzol im Molverhältnis 1 : 1 bis 1 : 2 (zu epoxidierende Doppelbindung zu Persäure) in ein Reaktionssystem ein, das aus einer Folge von 1 bis 4 ideal durchmischten Reaktoren und einem Nachreaktor besteht, und führt die Reaktion bei einer Temperatur von 10 bis 120°C durch, wobei man die Verweilzeit so einstellt, daß der Umsatz, bezogen auf eingesetzte olefinische Doppelbindungen, nach dem oder den ideal durchmischten Reaktoren bei mindestens 80 Molprozent und nach dem Nachreaktor bei mindestens 95, bevorzugt über 98 Molprozent, liegt. Das aus dem Nachreaktor austretende Gemisch befreit man in einer Kombination von Destillations- und Desorptionsschritten von Benzol, Propionsäure, geringen Mengen an Perpropionsäure und von anderen Leicht siedern. Die Auftrennung des Reaktionsgemisches kann nach folgenden Varianten erfolgen:

#### Variante 1 (diskontinuierlich)

Gemäß dieser werden die einzelnen Bestandteile des Reaktionsgemisches in der Reihenfolge ihrer Siedepunkte einzeln oder als Gemische destillativ oder destillativ und desorptiv entfernt. Hierbei gehen Fraktionen von Benzol, Resten Perpropionsäure, Propionsäure und sonstige leicht flüchtige Bestandteile über. Als Sumpf verbleibt das Epoxid. Das abgetrennte Benzol sowie die

Propionsäure können gegebenenfalls nach weiteren Reinigungsschritten in die Persäureherstellung rückgeführt werden.

#### Variante 2 (kontinuierlich, Abb. 1 und 2)

Nach dieser kontinuierlich durchzuführenden Variante werden zunächst, nachdem das Reaktionsgemisch die Reaktionseinheit 1 verlassen hat, Benzol, Propionsäure und nichtumgesetzte Perpropionsäure größtenteils in der ein- oder mehrstufigen Destillationseinheit 2 entfernt. Diese besteht aus geeigneten Apparaten wie Dünnschicht-, Fallfilm- oder Umlaufverdampfern. Es ist vorteilhaft, unter vermindertem Druck von 0,5 bis 600, vorzugsweise 10 bis 300 mbar, zu destillieren (Temperatur des Heizmediums 50 bis 150°C). Die mittleren Verweilzeiten, bezogen auf die einzelnen Stufen der Verdampfung, liegen bei maximal 10 Minuten, bevorzugt werden Verweilzeiten von maximal 5 Minuten. Anschließend wird nach dem erfindungsgemäßen Verfahren die im Rohprodukt verbliebene Menge Propionsäure in der Desorptionseinheit 3 mit Benzoldampf, der im Verdampfer 4 generiert wird, desorptiv entfernt. Die Brüden aus der Desorptionseinheit 3 können entweder an der Destillationseinheit 2 vorbeigeführt oder durch diese hindurchgeführt werden. Nach diesem Schritt werden aus dem Epoxid die verbliebenen Spuren Benzol mit Stickstoff bzw. sonstigen Inertgasen in der Desorptionseinheit 5 desorbiert. Die aus den Destillations- bzw. Desorptionseinheiten 2 und 3 stammenden Kondensatströme, die im wesentlichen aus Benzol, nichtumgesetzter Perpropion- und Propionsäure bestehen, werden nach weiterer Auftrennung, — siehe Abb. 2, deren Beschreibung später erfolgt — in die Persäureherstellung bzw. Epoxidation rückgeführt.

Als Desorptionseinheit in allen Beispielen eignen sich Apparate wie z. B. Fallfilmverdampfer, Sambay-Verdampfer, Kolonnen mit Einbauten oder Füllkörpern oder ähnliche Vorrichtungen, die einen guten Stoffaustausch zwischen gasförmiger und flüssiger Phase ermöglichen und die dem Fachmann bekannt sind.

Bei allen Varianten fallen Kondensate an, die überwiegend aus Benzol, unumgesetzter Perpropionsäure und sonstigen Leichtsiedern bestehen; sie werden nach dem erfindungsgemäßen Verfahren in eine aus einer oder mehreren Kolonnen bestehende Destillationseinheit 6 (Zeichnung 2) überführt. Diese liefert als Kopfprodukt Benzol und gegebenenfalls weitere Leichtsieder. Ersteres wird gegebenenfalls nach weiterer Destillation in 7 in das Herstellungsverfahren der Perpropionsäure zurückgeführt. Im Sumpf der Destillationseinheit 6 fällt ein Gemisch aus Propionsäure, Perpropionsäure und Benzol mit einem Benzolanteil von 5 bis 35 Gewichtsprozent, bezogen auf die Sumpfgemische, an. Dieses Gemisch wird einer weiteren Destillationseinheit 8 zugeführt, in der man die Gesamtmenge des zugeführten Benzols und der Perpropionsäure mit Anteilen Propionsäure über Kopf abzieht und dabei eine Konzentration von Perpropionsäure im Destillat von 25 Gewichtsprozent nicht überschreitet und dieses Kopfprodukt in das Herstellungsverfahren der Perpropionsäure oder in die Umsetzung des Olefins mit Perpropionsäure zurückführt. Als Sumpfprodukt in Kolonne 8 fällt Propionsäure an, die nach weiterer Aufarbeitung wie Reindestillation in die Herstellung der Perpropionsäure, gegebenenfalls nach Ergänzung, zurückgeführt wird. Besonders vorteilhaft ist es, die in 8 anfallende Propionsäure dampfförmig oberhalb des Sumpfes abzuzie-

hen und zu kondensieren, da hierdurch der weitere Reinigungsschritt entfällt.

Erfindungsgemäß werden alle destillativen Aufarbeitungsschritte vorzugsweise unter vermindertem Druck, z. B. 0,5 bis 600 mbar, durchgeführt. Kolonnen, in denen Benzol oder Propionsäure als Kopfprodukt anfällt, können ebenso bei Normaldruck betrieben werden.

Das erfindungsgemäße Verfahren bietet eine Reihe von überraschenden Vorteilen.

Mit Hilfe der sogenannten Prileschajew-Reaktion ist es nach diesem Verfahren möglich, die vorgenannten Epoxisilane im technischen Maßstab auf gefahrlose Weise in hoher Ausbeute herzustellen. Die auf diese Weise erhaltenen Produkte zeichnen sich durch außerordentliche Reinheit, hohen Epoxidgehalt, niedrige Viskosität und helle Farbe aus.

Ebenfalls besonders niedrig, bzw. nicht nachweisbar, ist der Gehalt an ionischen Verunreinigungen, ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ , etc.) wodurch ein Produkt mit deutlich besseren Eigenschaften als nach anderen Verfahren hergestellten Epoxisilanen zur Verfügung steht. Gerade für Anwendungen im Bereich der Mikroelektronik werden an die Reinheit der dort einzusetzenden Produkte, Qualitätsanforderungen gestellt, wie sie nach dem erfindungsgemäßen Verfahren besonders leicht erfüllt werden.

Das beschriebene Verfahren ist wirtschaftlich, da alle Hilfsmedien rückgeführt werden. Das Verfahren ist besonders umweltfreundlich, da aus dem Oxidationsmittel lediglich Wasser als Abfall entsteht; darüberhinaus fallen nur geringe Mengen an sonstigen Abwässern, Leichtsiedern und Destillationsrückständen an, die unproblematisch und gefahrlos entsorgt werden können.

Erfindungsgemäß sind nur kurze Reaktionszeiten nötig, was die technische Durchführung besonders wirtschaftlich gestaltet.

Es war überraschend und nicht vorhersehbar, daß die Umsetzung der vorgenannten Silane mit einer rohen Perpropionsäure, die noch Mineralsäure, Wasser und Wasserstoffperoxid in den vorgenannten Konzentrationen enthält, bei weitestgehender Unterdrückung von Neben- und Folgereaktionen durchführbar ist. Weiterhin war nicht vorhersehbar, daß die dabei anfallenden Reaktionsgemische erfindungsgemäß destillativ oder desorptiv aufarbeitbar sind, ohne daß sich dadurch der Epoxidgehalt des Produktes merklich verringert.

#### Beispiel 1 (diskontinuierlich)

Zu 40,0 g (0,23 Mol) 4-Trimethoxysilyl-1-buten wurden unter Rühren bei 75°C innerhalb 2 Stunden 104 g (0,25 Mol) Perpropionsäure (22 Gewichtsprozent) in Benzol, gegeben. Die Perpropionsäure wurde gemäß DE-PS 25 19 289 hergestellt und wies einen Gehalt von 0,59 Gewichtsprozent Wasserstoffperoxid, 0,91 Gewichtsprozent Wasser und 620 ppm Schwefelsäure auf und wurde auch bei allen folgenden Versuchen verwendet. Nach der Zugabe rührte man 2 Stunden bei 75°C nach. Der Umsatz an Olefin betrug dann 98%. Die erhaltene klare, schwach gelbe Lösung wurde innerhalb 20 Minuten bei 90°C und einem Druck von 100 mbar über einen Dünnschichtverdampfer gegeben, wobei gleichzeitig im Gegenstrom ca. 180 g/Stunde Benzoldampf geführt wurden. Das so erhaltene Rohepoxid wurde nun bei 90°C/30 mbar über den Dünnschichtverdampfer gegeben; im Gegenstrom führte man einen schwachen Stickstoffstrom. Als Sumpf erhielt man 38 g

1,2-Epoxy-4-trimethoxysilylbutan mit einem Epoxidgehalt von 88% (titr.). Weitere Reinigung durch Destillation im Vakuum (Siedepunkt) 90°C/12 mbar).  
Elementaranalyse:

	C	H
Berechnet:	43,72	8,39
Gefunden:	43,20	8,43

#### Beispiel 2 (diskontinuierlich)

Zu 33,0 g (0,13 Mol) Tetra-(1-propenoxy)-silan wurden unter Rühren bei 70°C innerhalb 1 Stunde 0,57 Mol Perpropionsäure (22 Gewichtsprozent) in Benzol gegeben. Anschließend rührte man 3 Stunden bei 75°C nach. Der Olefinumsatz betrug dann 90,2%. Aufarbeitung wie bei Beispiel 1 führte zu 36,3 g Tetraglycidylsilan als Rohware zu einem Epoxidgehalt von 88,1% (titr.).  
Elementaranalyse:

	C	H
Berechnet:	45,00	6,29
Gefunden:	44,66	6,04

#### Beispiel 3 (diskontinuierlich)

Zu 80 g (0,35 Mol) 1-Trimethoxysilylethyl-cyclohexen-3 wurden unter Rühren und Kühlen auf 40°C innerhalb 2 Stunden 0,39 Mol Perpropionsäure (22 Gewichtsprozent) in Benzol gegeben. Der Olefinumsatz betrug nach 2 Stunden Nachreaktion bei 50°C 94,4%. Aufarbeitung wie Beispiel 1 lieferte 75 g rohes Trimethoxysilylethyl-epoxy-cyclohexen mit einem Epoxidgehalt von 84% (GC).

Elementaranalyse:

	C	H
Berechnet:	53,63	9,00
Gefunden:	53,29	9,04

#### Beispiel 4 (diskontinuierlich)

Zu 36,2 g (0,14 Mol) Trimethoxysilyl-limonen (Isomengemisch) wurden unter Rühren und Kühlen auf 40°C innerhalb 40 Minuten 0,15 Mol Perpropionsäure (22 Gewichtsprozent) in Benzol gegeben. Der Olefinumsatz betrug nach 2,5 Stunden Nachreaktion bei 50°C 98,6%. Aufarbeitung wie bei Beispiel 1 ergab als Rohprodukt 33,2 g epoxidiertes Trimethoxysilyl-limonen mit einem Epoxidgehalt von 88,3% (GC).  
Elementaranalyse:

	C	H
Berechnet:	56,90	9,55
Gefunden:	56,26	10,02

#### Beispiel 5 (kontinuierlich)

In den 1. Rührkessel einer Reaktionseinheit, bestehend aus zwei Rührkesseln vom Volumen 1000ml und

1200 ml sowie einem als Rohrreaktor ausgebildeten Nachreaktor, der ein Volumen von 790 ml hat, wurden stündlich 1,32 Mol Perpropionsäure in Benzol (22 Gewichtsprozent) und 1,2 Mol Triethoxysilyldicyclopentadien (Isomerengemisch) eingespeist, was einem Molverhältnis Persäure zu Olefin von 1,1 : 1 entspricht. Die Reaktionstemperatur betrug im 1. Reaktor 40°C, im 2. Reaktor 40°C und im Nachreaktor 50°C. Die Umsätze an Olefin betrugen nach der Rührkesselkaskade 92% und nach dem Rohrreaktor 96,1%. Gemäß Aufarbeitungsvariante 2 wurden zunächst in einem Sarnby-Verdampfer mit der Fläche von 0,065 m<sup>2</sup> bei 90°C/100 mbar Benzol, Perpropionsäure und Propionsäure abgetrennt. Restliche Propionsäure wurde in einem 2. Verdampfer gleichen Typs und gleicher Fläche bei 90°C/100 mbar bei einem Durchsatz von 320 g/Stunde Benzoldampf desorbiert, wobei die Brüden aus diesem Verdampfer vollständig im Gegenstrom zum Produktstrom durch den 1. Verdampfer geführt wurden. Nachfolgend wurde das Epoxid in einer Desorptionseinheit, bestehend aus einem Sarnby-Verdampfer (Fläche 0,065 m<sup>2</sup>) bei 95°C/30 mbar mit 14 g/Stunde Stickstoff behandelt. Als Produkt fielen stündlich 362,1 g epoxidiertes Triethoxysilyldicyclopentadien als Isomerengemisch an.

Elementaranalyse:

	C	H	
Berechnet:	61,50	9,03	
Gefunden:	61,32	9,26	30

#### Beispiel 6 (kontinuierlich)

In den 1. Rührkessel einer Reaktionseinheit, bestehend aus zwei Rührkesseln vom Volumen von jeweils 1500 ml sowie einem rohrförmigen Nachreaktor vom Volumen von 790 ml wurden stündlich 1,2 Mol Perpropionsäure in Benzol (22 Gewichtsprozent) und 1,1 Mol 1-Triethoxysilylethyl-cyclohexen-3 eingespeist, was einem Molverhältnis von 1,09 : 1 (Persäure zu Olefin) entspricht. Die Reaktionstemperatur betrug im 1. Reaktor 41°C, im 2. Reaktor 40°C und im Nachreaktor bei 50°C. Die Olefinumsätze lagen nach den Rührkesseln bei 93,4% und nach dem Rohrreaktor bei 96,3%. Wie bei Beispiel 5 erfolgte die Aufarbeitung, wobei jedoch die Brüden des 2. Verdampfers vollständig am 1. Verdampfer vorbeigeführt wurden. Nach der Desorption mit Stickstoff wie bei Beispiel 5 fielen stündlich 306,8 g Epoxid mit einem Gehalt von 91,4% (titr.) an.

Elementaranalyse:

	C	H	
Berechnet:	58,29	9,78	55
Gefunden:	57,86	9,55	

<sup>1</sup>H-NMR-Spektren sind für alle Rohprodukte der Beispiele 1 bis 6 beigelegt.

Nummer: 35 28 006  
Int. Cl. 4: C 07 F 7/18  
Anmeldetag: 5. August 1985  
Offenlegungstag: 5. Februar 1987

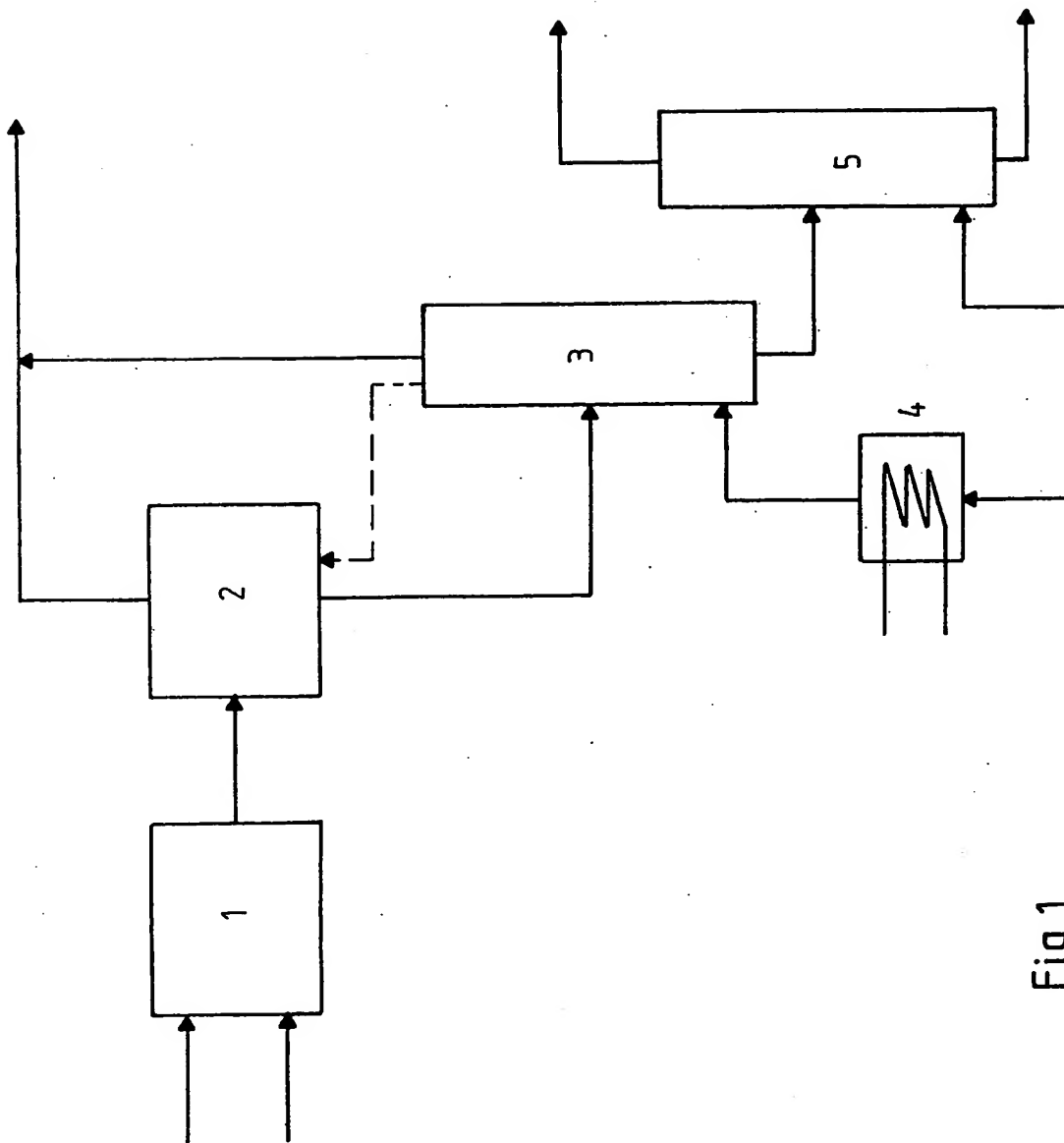


Fig.1

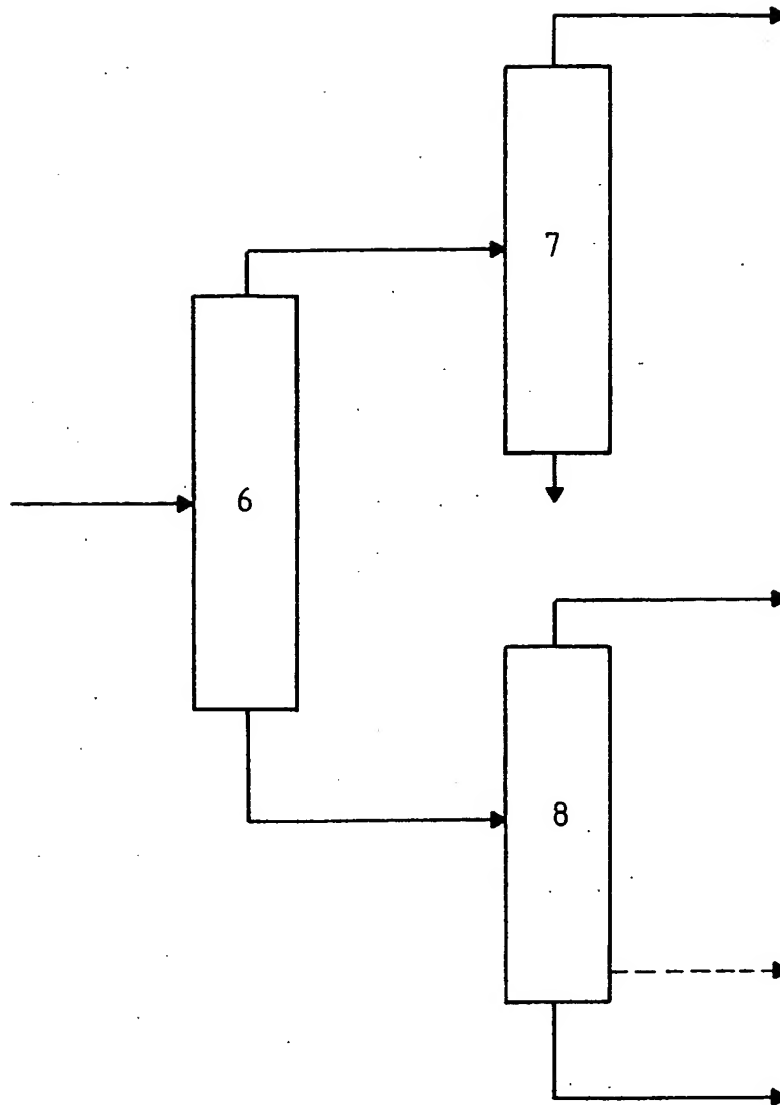
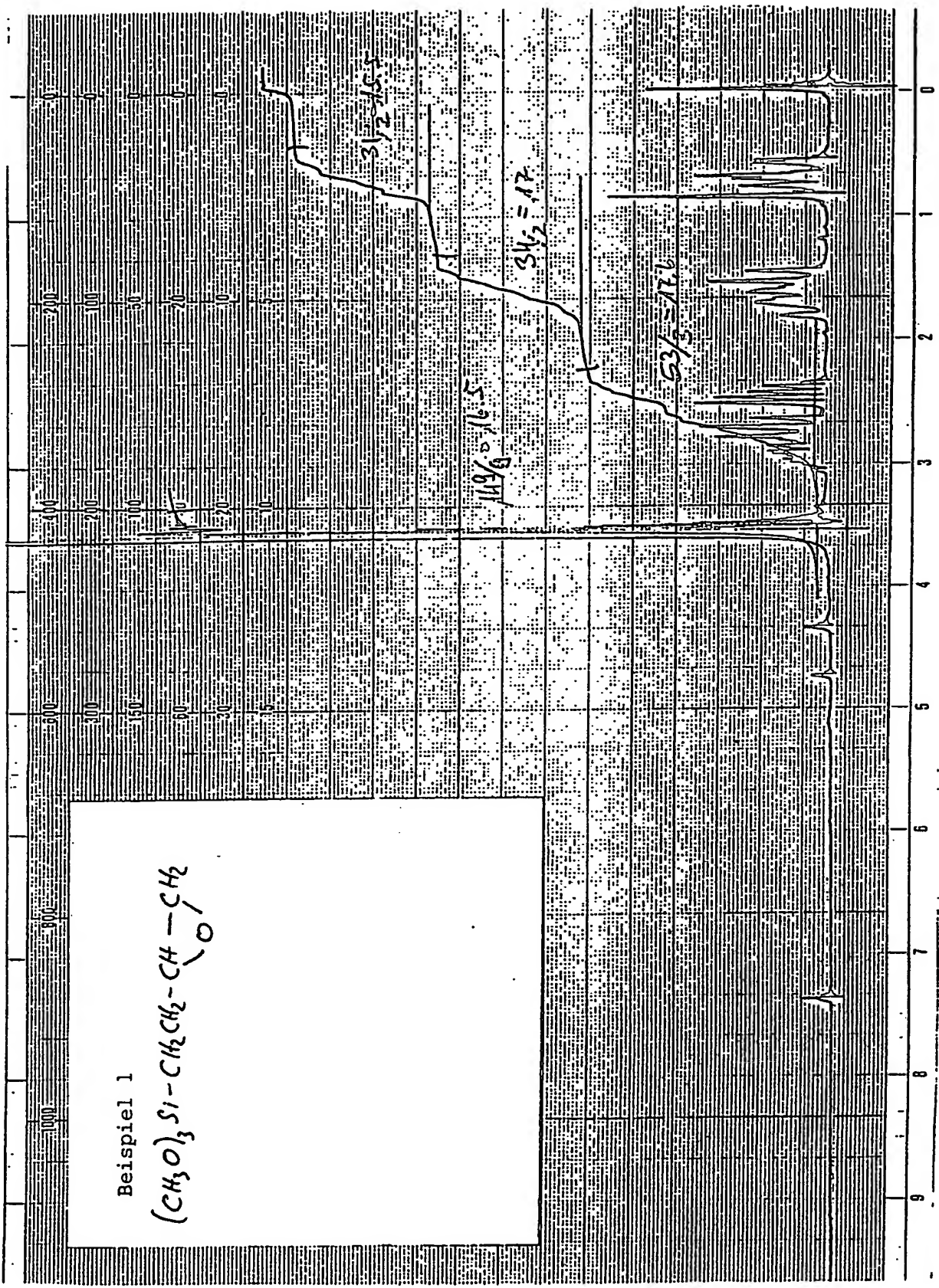


Fig. 2

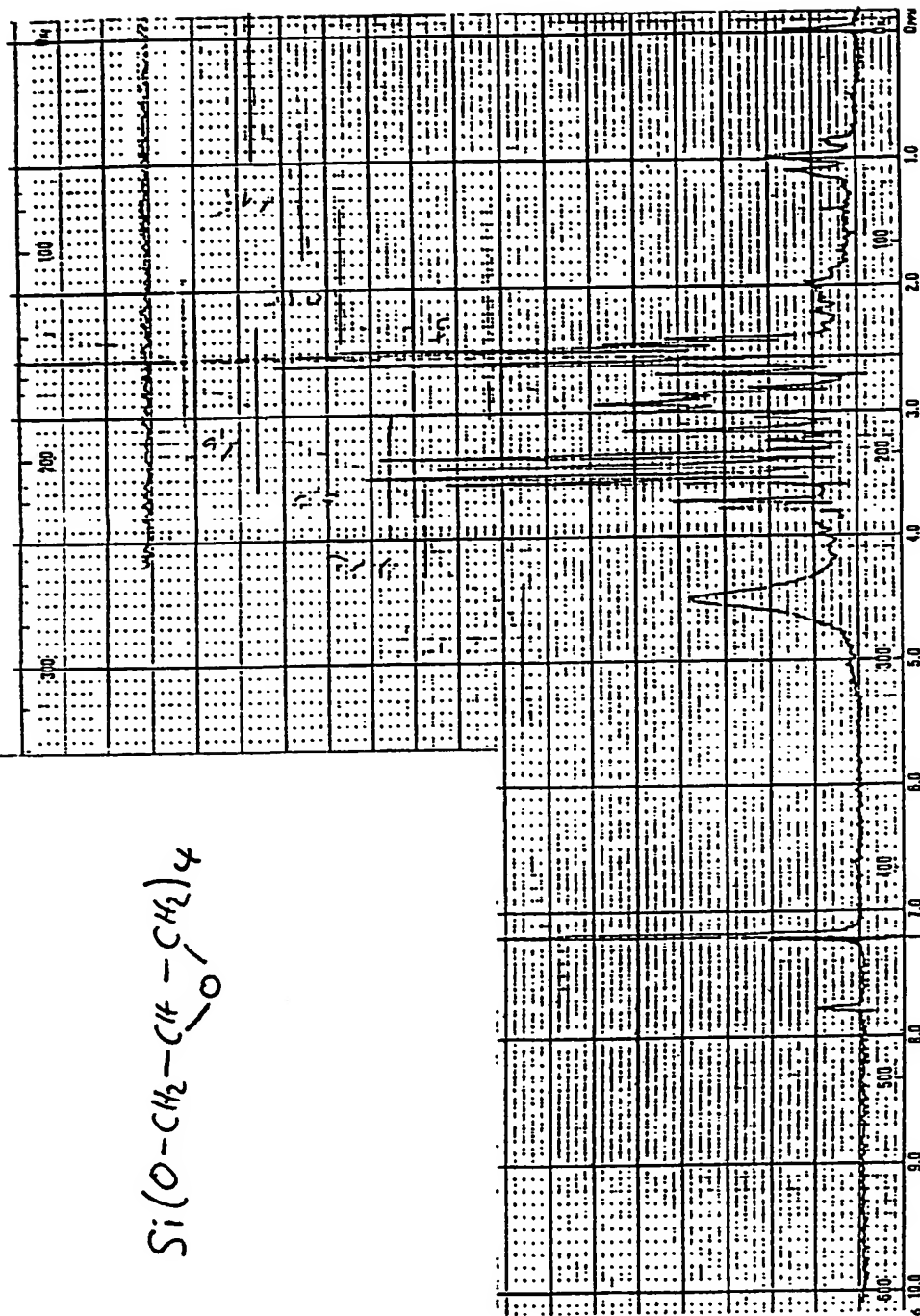
ORIGINAL INSPECTED





BEST AVAILABLE COPY

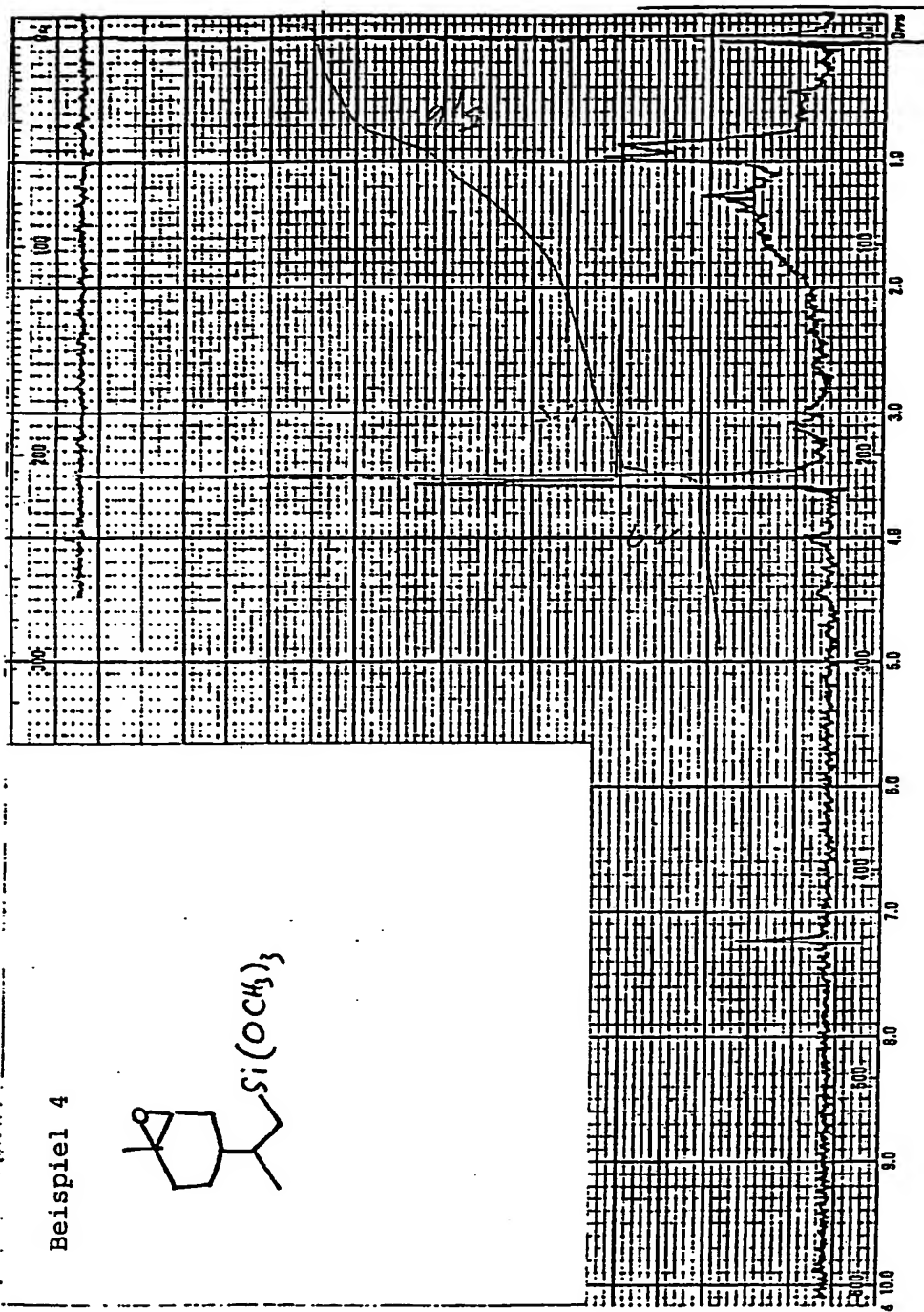
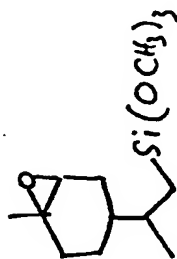
Beispiel 2



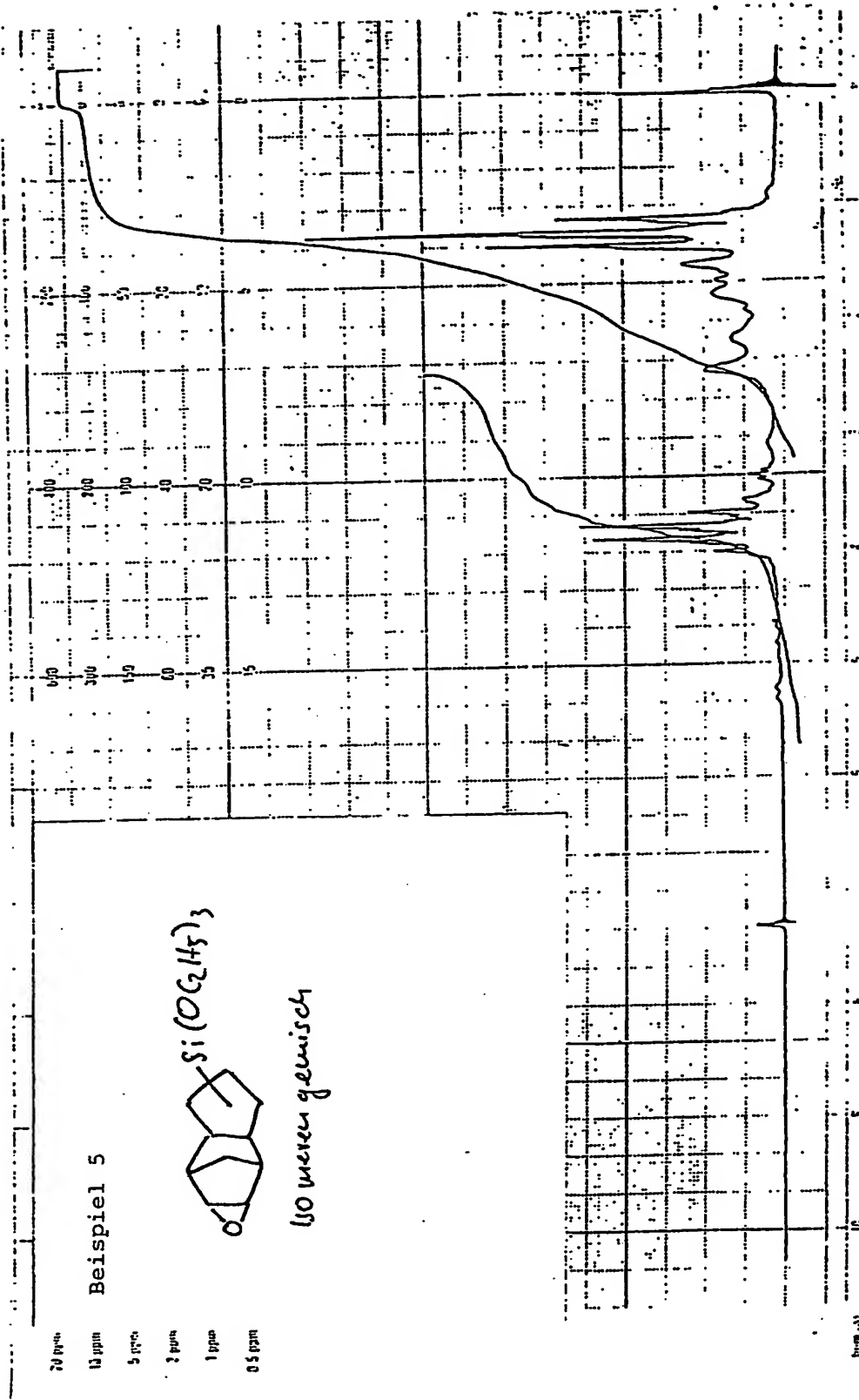
ORIGINAL INSPECTED



Beispiel 4



ORIGINAL INSPECTED



BAD ORIGINAL

